SNI 8397:2017

Standar Nasional Indonesia

Panduan studi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

ICS 27.140

Badan Standardisasi Nasional

Daftar isi

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 8397:2017 dengan judul “Panduan studi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” disusun untuk memberikan acuan bagi kalangan profesional, praktisi, akademisi, pemerintah dan masyarakat pada umumnya tentang istilah terkait PLTMH, tahapan pembangunan PLTMH, proses studi kelayakan PLTM dan isi laporan sebuah hasil studi kelayakan.

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini disusun oleh Komite Teknis 27-03, Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan melalui prosedur perumusan standar dan dibahas dalam forum konsensus di Bandung 18-19 Oktober 2016 dengan melibatkan para narasumber, pakar, dan lembaga terkait, serta telah melalui tahap jajak pendapat tanggal 16 Januari 2017 sampai dengan 16 Maret 2017.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (untuk selanjutnya disebut 'Mikrohidro' atau disingkat PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik kecil yang digerakan oleh tenaga air yang berasal dari sungai kecil atau irigasi, dengan cara memanfaatkan debit dan beda ketinggian (*head*) air. Untuk keperluan listrik pedesaan, listrik terbangkit merupakan arus bolak-balik yang bertegangan 220/380 volt AC. Mikrohidro biasa dibangun di daerah terpencil atau daerah yang belum terjangkau jaringan distribusi karena alasan teknis maupun ekonomis. Syarat utama kelayakan teknis Mikrohiro adalah adanya head dan debit air. Mikrohidro merupakan teknologi tepat guna yang sudah diaplikaan di Indonesia sejak puluhan tahun lalu di berbagai penjuru tanah air.

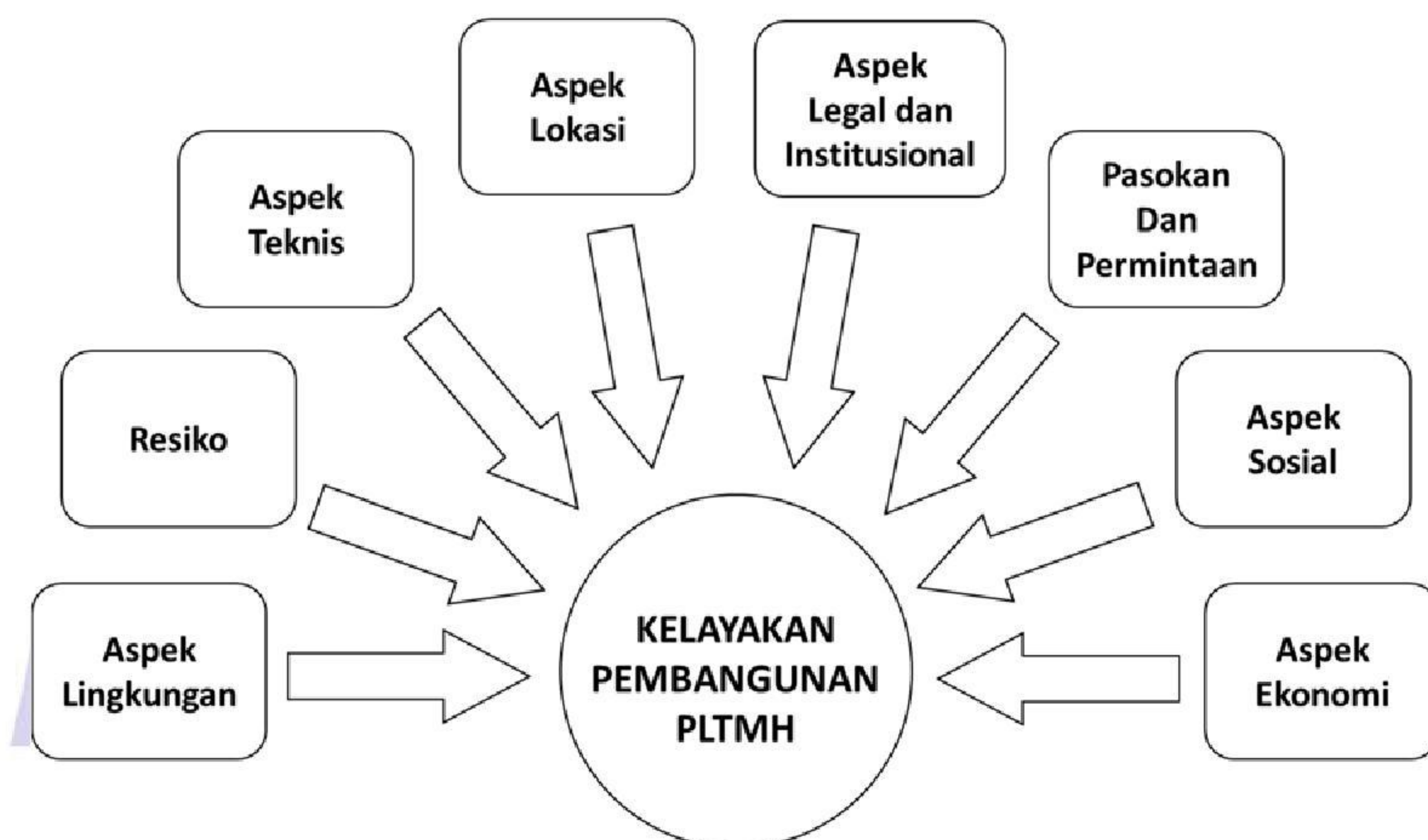
Komponen Mikrohidro sudah dapat diproduksi secara lokal dengan TKDN yang cukup tinggi dibanding peralatan pembangkit listrik dari energi terbarukan lainnya. Profesi Mikrohidro pun di Indonsia sudah berkembang menjadi profesi yang prospektif dan diminati banyak orang. Perusahaan konsultan bermunculan dan mawarkan diri untuk menjadi perencana atau perancang PLTMH. Oleh karena itu penting sekali keberadaan SNI yang memaparkan mengenai proses dan tahapan studi kelayakan PLTMH.

Untuk dapat memahami SNI ini diharapkan terlebih dahulu mempelajari buku pedoman, panduan, dan petunjuk teknis perencanaan / perancangan dan studi kelayakan mikrohidro. Diharapkan SNI ini dapat memberikan manfaat bagi kalangan profesional, praktisi, akademisi, pemerintah dan masyarakat pada umumnya.

Panduan studi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

1 Ruang lingkup

Standar ini dapat dipergunakan untuk keperluan pembuatan studi kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang memanfaatkan aliran dan terjunan air sampai dengan kapasitas terpasang 1 MW (satu Mega Watt).

Panduan ini meliputi aspek-aspek seperti yang terangkum dalam gambar dibawah ini:

Gambar 1 - Aspek- aspek dalam menyusun studi kelayakan pembangunan PLTMH

2 Acuan normatif

SNI 7931:2013, *Perancangan kapasitas dan lay out sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro jenis crossflow sampai dengan daya terbangkit 25 kW.*

SNI 7932:2013, *Spesifikasi turbin air crossflow dengan daya mekanik hingga 35 kW untuk PLTMH.*

SNI 8066:2015, *Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung*

SNI 0225:2011, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*

SNI 0225:2011/Amd 5:2016, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)-Amendemen 5 (IEC 60364-5-56:2009, MOD)*

3 Istilah dan definisi

3.1
anchor block
Penumpu beton bertulang ke permukaan tanah keras atau tanah asli untuk menahan pipa agar tidak terdefleksi ke segala arah.

3.2
bak penenang
Struktur yang mempunyai luas potongan melintang lebih besar dari saluran pembawa yang berfungsi untuk memperlambat aliran air agar terjadi pengendapan partikel sedimen dan menenangkan aliran air sebelum masuk ke dalam pipa pesat.

3.3
bendung
Struktur yang berfungsi untuk menaikkan dan mengontrol tinggi muka air dalam sungai sehingga jumlah air memadai dapat dialihkan ke dalam intake

3.4
debit
Volume air per satuan waktu yang mengalir melalui suatu penampang saluran atau pipa

3.5
debit banjir
Debit ketika terjadi curah hujan paling tinggi pada daerah tertentu

3.6
debit desain
Debit berdasarkan perhitungan dan estimasi dari berbagai parameter (klimatologi, geospasial, geografi, dan geologi) sesuai dengan kebutuhan maksud tertentu

3.7
draft tube
Saluran yang menghubungkan runner turbin reaksi dengan permukaan air tailrace untuk memanfaatkan beda tinggi dan energi kinetik air yang keluar

3.8
efisiensi turbin
Perbandingan daya mekanik poros turbin terhadap daya air yang dinyatakan dalam persen

3.9
expansion joint
Komponen yang biasa digunakan untuk sistem pipa yang ditujukan untuk menyerap ekspansi karena panas atau gerakan pada sambungan

3.10
penyulang
Saluran listrik yang berasal dari gardu induk utama dan memasok satu atau lebih gardu induk sekunder

3.11
flow control
Suatu teknik untuk mengikuti kebutuhan beban tertentu dengan cara mengatur aliran air pada suatu sistem

3.12
Flow Duration Curve (FDC)
Sebuah teknik plot yang menunjukan hubungan antara nilai debit aliran air yang melewati lokasi tertentu dalam rentang waktu tertentu dengan frekuensi terjadinya

3.13
generator
Mesin yang mengubah (mengkonversi) energi mekanik menjadi energi listrik

3.14
generator asinkron
Generator yang putaran medan magnetnya selalu sama dengan putaran rotornya.

3.15
generator sinkron
Generator yang putaran medan magnetnya tidak selalu sama dengan putaran rotornya.

3.16
geodetic head
beda tinggi antara permukaan tanah pada rencana bak penenang dengan permukaan tanah pada rencana rumah pembangkit atau muka air sungai pada sisi hilir

3.17
geografi
ilmu tentang permukaan bumi, iklim, penduduk, flora, fauna, serta hasil yang diperoleh dari bumi

3.18
geologi
ilmu (sains) yang mempelajari bumi, komposisinya, struktur, sifat-sifat fisik, sejarah, dan proses pembentukannya

3.19
geoteknik
penerapan asas teknik secara ilmiah dalam memperoleh, menafsirkan, dan menggunakan pengetahuan tentang kerak bumi untuk penyelesaian permasalahan teknik sipil

3.20
grounding
Penghubungan suatu titik sirkuit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkuit listrik dengan bumi menurut cara tertentu

3.21
jaringan distribusi
Sebuah sistem fasilitas penyaluran tenaga listrik yang meliputi saluran trasnmisi dan saluran distribusi berikut sarana penunjangnya

3.22
head
jarak vertikal antara permukaan air pada bak penenang dengan sumbu utama turbin.

3.23
head loss
Kerugian energi per satuan berat fluida dalam pengaliran cairan dalam sistem perpipaan disebut sebagai kerugian *head*

3.24
hidrografi
ilmu tentang pengukuran dan pemetaan perairan (sungai, danau, pelabuhan, laut, dan sebagainya) dan dasar laut

3.25
intake
Struktur yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa. *Sand trap* dapat menjadi satu (integrasi) dengan struktur ini

3.26
JTR (Jaringan Tegangan Rendah)
Jaringan listrik yang berfungsi mengalirkan listrik pada tegangan rendah

CATATAN Beberapa tingkat tegangan yang digunakan untuk distribusi tenaga listrik dan mempunyai batas atas yang umumnya diterima sebesar 1000 V a.b.b (Volt arus bolak-balik).

3.27
JTM (Jaringan Tegangan Menengah)
Jaringan listrik yang berfungsi mengalirkan listrik pada tegangan menengah

CATATAN Batas antara tingkat tegangan menengah dan tinggi dan bergantung pada kondisi lokal dan penggunaannya secara umum. Kecuali ban 30 kV - 100 kV sering menurut batas yang diterima.

3.28
load control
suatu teknik untuk mengikuti kebutuhan beban tertentu dengan cara mengatur beban tambahan dalam sistem internal sehingga paremeter operasi sistem pada kondisi tetap.

3.29
main inlet valve
Katup utama untuk mengalirkan fluida ke turbin

3.30
off grid
Sistem kelistrikan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum

3.31
on grid
Sistem kelistrikan yang terhubung dengan jaringan listrik umum

3.32
peta geospasial
Informasi obyek permukaan bumi yang mencakup sifat keruangan dengan menunjukkan posisi atau lokasi suatu objek yang berada pada permukaan bumi dengan mengacu pada sistem koordinat nasional.

3.33
pipa pesat
Suatu pipa atau saluran yang mengalirkan air bertekanan ke turbin

3.34
riprap
Kumpulan batu tanpa perekat yang diatur sedemikian rupa sehingga berfungsi untuk meredam energi dan melindungi dasar saluran dari gerusan air

3.35
runner
Bagian turbin yang berputar oleh daya kinetik air yang melintas dan/atau menumbuk sudu putar (*blade*).

3.36
rumah pembangkit
Struktur yang di dalamnya terdapat turbin, generator, peralatan kontrol, dan peralatan penunjang lainnya

3.37
saluran pembawa
Kanal yang berfungsi mengalirkan air dari *intake* bak penenang dapat berupa kanal terbuka, kana tertutup, pipa, terowongan air, atau talang air

3.38
saluran pembilas
Saluran yang dibuat untuk membuang atau mengalirkan endapan sedimentasi pada sebuah bangunan

3.39
single line diagram
Bagan 2 dimensi sederhana yang menjelaskan sistem kelistrikan pada sebuah instalasi listrik sehingga memudahkan memahami kondisi dan fungsi setiap bagian untuk memudahkan operasi dan pemeliharaan

3.40
sistem proteksi
Sistem pengamanan pada peralatan listrik untuk menghadapi terjadinya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya

3.41
spillway
Suatu bangunan untuk mengendalikan pelimpahan air dengan cara mengalirkan air dari bendungan / tanggul / bak ke daerah hilir

3.42
sumbu utama turbin
Bidang khayal horizontal yang melalui garis sumbu poros *runner* turbin

3.43
surge tank
Suatu bangunan tempat penyimpanan air terbuka untuk mengurangi pengaruh gelombang tekanan kejut dari dalam pipa pesat

3.44
tailrace
bangunan yang menyalurkan air dari rumah pembangkit untuk masuk kembali ke aliran sungai

3.45
transformator
Alat untuk mengubah (menaikan atau menurunkan) tegangan listrik pada arus bolak-balik

3.46
trash rack
Bangunan yang berfungsi untuk menyaring sampah dari aliran air

3.47
turbin aksi
Suatu turbin yang beroperasi dengan memanfaatkan energi kinetik fluidanya

3.48
turbin reaksi
Suatu turbin yang beroperasi dengan memanfaatkan baik energi kinetik maupun karena tekanan fluidanya

3.49
waterway
Kumpulan atau sebuah bangunan yang menyalurkan air dari sungai hingga ke turbin

4 Potensi Daya dan Energi Hidro

4.1 Topografi

Peta topografi yang dipakai untuk kajian studi kelayakan sebaiknya menggunakan peta geospasial yang diterbitkan oleh lembaga/badan pemerintah. Untuk peta situasi minimal menggunakan skala 1:25.000. Adapun untuk tata letak pembangkit digambarkan diatas peta dengan skala 1:10.000. Gambar tata letak mencakup sungai, bagian dari rencana pembangkit, jaringan distribusi untuk sistem *off grid* dan kabel penyulang untuk sistem *on grid*. Gambar tata letak setidak-tidaknya mencakup area 100 meter ke arah hulu bendung dan 100 meter ke arah hilir *tailrace*. Adapun survei topografi yang dilakukan untuk bagian dari rencana pembangkit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 - Persyaratan survei topografi

No	Bagian Rencana Pembangkit	Skala	Persyaratan
1	*Intake/ Weir*	1:500	- Dilakukan pengukuran topografi pada area rencana bendung/intake meliputi 100 meter ke arah hulu dan 100 meter ke arah hilir. - Dilakukan pembuatan gambar penampang melintang sungai pada rencana bendung
2	Saluran Pembawa dan *sand trap*	1:500	- Dilakukan pengukuran topografi sepanjang saluran pembawa dan *sand trap* dengan koridor 25 meter kiri dan kanan dari sumbu rencana saluran - Dilakukan pembuatan gambar penampang melintang pada titik-titik penting untuk mengetahui volume timbunan dan galian.

Tabel 1 - Persyaratan survei topografi (lanjutan)

No	Bagian Rencana Pembangkit	Skala	Persyaratan
3	Bak penenang	1:500	Dilakukan pengukuran topografi pada sekitar area bak penenang dan pembuatan gambar penampang melintang untuk mengetahui volume timbunan dan galian.
4	Pipa Pesat	1:500	Dilakukan pengukuran topografi dan pembuatan gambar penampang memanjang dari rencana bak penenang sampai rumah pembangkit untuk mengetahui kontur muka tanah sepanjang jalur pipa pesat
5	Rumah Pembangkit	1:500	- Dilakukan pengukuran topografi pada area sekitar rumah pembangkit termasuk *tailrace* sampai air kembali ke sungai - Untuk penggunaan turbin reaksi dibuatkan gambar penampang melintang dari instalasi *draft tube.*

Tabel 1 dimaksudkan untuk mencapai akurasi perencanaan yang tinggi, yang akhirnya berpengaruh pada akurasi perkiraan biaya.

Patok permanen harus dipasang sebagai referensi tetap, supaya pada saat survei ulang ataupun pada masa memulai pembangunan, patok tersebut tidak hilang. Patok minimal dipasang satu buah di koordinat rencana bendung atau rencana rumah pembangkit. Sedangkan koordinat yang harus tercantum dalam sebuah laporan survei potensi minimal adalah:

a. Koordinat rencana *intake* / bendung
b. Koordinat rencana bak penenang
c. Koordinat rencana rumah pembangkit

4.2 Pengukuran *head*

Pengukuran *head* bisa dilakukan dengan beberapa metode yang dapat dipertanggungjawabkan, tergantung pada kesulitan dan kondisi di lapangan, serta alat yang tersedia. Beberapa meteode pengukuran *head* yang diperbolehkan adalah:

a. Pengukuran *head* dengan selang
b. Pengukuran *head* dengan menggunakan *water pressure gauge*
c. Pengukuran *head* secara profesional dengan menggunakan alat ukur standar pemetaan topografi.

Pengukuran dengan alat seperti GPS atau *altimeter* tidak akurat untuk dipakai pada analisa studi kelayakan, namun bisa dipakai untuk tujuan survei awal. Pengukuran *head* juga dapat menggunakan alat ukur laser triangulasi. Harus dipertimbangkan kemungkinan kesalahan yang mungkin terjadi, terutama pada pengukuran bertahap, selain ketelitian dari peralatan itu sendiri jua keterampilan juru ukur menjadi sangat menentukan akurasi. Hasil pengukuran *head* ini seringkali disebut *geodetic head.*

4.3 Aspek hidrologi

Flow duration curve dapat diolah dari data primer / pengukuran langsung sepanjang tahun, biasanya dengan menggunakan *weir* dan mengukur tinggi muka air, atau bisa juga dengan memasang alat pencatat otomatis tinggi muka air.

Flow duration curve yang memanfaatkan data sekunder / perhitungan dari curah hujan dan *catcment area* memiliki toleransi tertentu.

Data hidrografi seperti curah hujan ataupun debit air dapat memakai data dari instansi pemerintah yang menangani pencatatan cuaca, irigasi dan kehutanan, termasuk data hasil pengukuran sendiri. Data hidrografi yang pakai haruslah memiliki rentang minimal 1 tahun, semakin banyak data semakin baik dan idealnya 10 tahun.

Ada beberapa cara perhitungan *flow duration curve (FDC)*, diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Mengukur debit atau ketinggian level air, baik secara manual ataupun memakai peralatan pencatatan, secara periodik dalam kurun waktu tertentu atau siklus waktu tertentu.
b. Mencari data hidrografi dari instansi yang terkait, misalnya dari instansi pemerintah yang menangani irigasi, dinas sumber daya air, balai besar wilayah sungai, kehutanan, dll.
c. Analisis hujan limpasan, metode ini memerlukan data curah hujan, klimatologi, vegetasi, dan perhitungan *catchment area*

Untuk membuat sebuah *FDC* yang akurat dipergunakan metode (b), sebagaimana disebutkan diatas. Jika data hidrografi tidak tersedia untuk lokasi tertentu maka *FDC* dapat dibuat dari hasil analisis hidrologi yang dengan menggunakan metode (c) tersebut diatas. Analisis hujan limpasan perlu divalidasi.

Perhitungan luas *catchment area* dapat dilakukan secara manual ataupun menggunakan alat bantu komputer.

Selain pengukuran debit, data yang juga sangat penting diperhatikan adalah kondisi banjir di lokasi tersebut, terutama dalam hal naiknya level permukaan sungai apabila terjadi banjir besar. Banjir periodik yang mungkin terjadi adalah banjir tahunan, 5 tahunan, atau banjir 20 tahunan. Dengan mengetahui kondisi banjir, maka akan membantu dalam pertimbangan perencanaan desain dan penempatan posisi bendung serta posisi rumah pembangkit. Untuk keberlangsungan pembangkit, sebaiknya level rumah pembangkit harus aman dari level banjir terbesar yang dapat diketahui.

4.4 Data klimatologi

Data yang diperlukan untuk klimatologi sebaiknya menggunakan data dengan rentang minimal 1 tahun, semakin banyak data semakin baik dan idealnya 10 tahun dan diolah sebagai salah satu referensi untuk mendapatkan *flow duration curve*. Data tersebut terdiri dari :

a. Posisi stasiun cuaca / pengukur curah hujan
b. Intensitas curah hujan
c. Temperatur
d. Kelembaban
e. Kecepatan angin
f. Evaporasi
g. Penyinaran Matahari

4.5 *Catchment area*

Data yang diperlukan untuk *catchment area* terdiri dari :

a. Peta geospasial skala 1:25.000 yang diterbitkan oleh lembaga/badan pemerintah
b. Elevasi ketinggian lahan dari permukaan air laut (*altitude*)
c. Posisi stasiun cuaca beserta data curah hujan bulanan
d. Sistem aliran sungai
e. Penggunaan / pengelolaan lahan
f. Jenis tanah

4.6 Debit desain instalasi

Perhitungan potensi daya harus didasarkan pada debit desain berdasarkan pada *flow duration curve*. Pengambilan titik yang dijadikan acuan debit desain tergantung pada pihak perencana. Debit desain ditentukan sebagai berikut:

- Untuk skema interkoneksi ditetapkan debit desain maksimal pada probabilitas Q_{30} dengan pertimbangan optimalisasi pemanfaatan sumber daya air yang tersedia dan biaya investasi.
- untuk skema terisolasi ditetapkan debit desain pada probabilitas debit Q_{80} sampai dengan Q_{100} , dengan pertimbangan ketersediaan listrik sepanjang tahun di lokasi.

4.7 Pengukuran debit air

Dalam menentukan besarnya potensi daya yang bisa terbangkitkan, maka diperlukan pengukuran potensi air yang mengikuti kaidah-kaidah pengukuran yang baik, yang dilakukan oleh personel yang memiliki pengetahuan yang cukup atau sudah berpengalaman. Pengukuran yang dimaksudkan adalah pengukuran debit yang sesuai dengan standar SNI 8066:2015

Hasil pengukuran debit yang dilakukan pada musim kemarau atau bulan terkering dapat dijadikan acuan untuk menentukan debit desain bagi pembangkit dengan kapasitas dibawah 100 kW. Penentuan debit desain dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut

$$Q_d = K \ x \ Q_t \quad (1)$$

Keterangan:

Q_d adalah debit desain untuk instalasi pembangkit dibawah 100 kW
K adalah konstanta yang ditetapkan antara 80% - 90%
Q_t adalah debit terukur pada musim kemarau atau bulan terkering

5 Kapasitas pembangkit dan produksi energi

Kapasitas pembangkitan instalasi PLTMH biasa dinyatakan dalam satuan daya kW (kilo Watt) listrik / Pel. Sebelum menghitung kapasitas pembangkitan PLTMH, penting sekali diketahui potensi daya air atau sering juga disebut dengan potensi daya hidrolis. Besarnya potensi daya hidrolis dihitung berdasarkan rumus:

$$P = \rho \ x \ g \ x \ Q \ x \ h \quad (2)$$

Keterangan:

P adalah potensi daya hidrolis (kW)
g adalah konstanta gravitasi (m/det^2)
Q adalah debit aliran air (m^3 / det)
h adalah *head* (m)
ρ adalah massa jenis air (kg / m^3)

Persamaan 1 di atas berlaku untuk satuan sistem internasional dan dapat diasumsikan masa jenis air = 1000 kg / m^3 = 1 ton / m^3 dan konstanta gravitasi sebesar 9,8 m / det^2. Potensi daya hidrolik ini menunjukan seberapa besar potensi daya yang dapat dibangkitkan di lokasi tersebut. Tentu potensi ini besarnya akan berbeda dari satu lokasi ke lokasi yang lainnya.

Adapun jumlah energi yang dihasilkan dalam satuan waktu tertentu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$E = P\ x\ t \tag{3}$$

Keterangan:
E adalah potensi Energi hidro (kWh)
P adalah potesi daya hidrolik (kW)
t adalah satuan waktu (h)

6 Rencana beban

6.1 Skema *off grid*

Untuk jaringan terisolasi, maka data yang harus dicari adalah
a. jumlah konsumen atau kk dan total beban, serta prediksi pertumbuhannya;
b. jumlah fasilitas umum yang akan menjadi pelanggan PLTMH;
c. jarak konsumen, fasilitas umum atau kelompok-kelompok konsumen yang hendak dilayani oleh PLTMH;
d. jumlah mesin-mesin produktif yang menggunakan listrik ;
e. siklus penggunaan energi (siklus harian beban);
f. bila diperlukan, data mengenai jaringan distribusi terdekat sebagai tambahan pertimbangan untuk rencana interkoneksi.

6.2 Skema *on grid*

Pembangkit yang hendak dihubungkan dengan jaringan distribusi atau *on grid*, maka data yang harus dicari adalah
a. kapasitas penyerapan jaringan distribusi di wilayah tersebut, serta rencana pengembangan jaringan distribusi di kawasan tersebut;
b. jarak jaringan untuk titik interkoneksi (baik JTR ataupun JTM);
c. intensitas dan durasi pemadaman;
d. kisaran/variasi tegangan listrik di titik interkoneksi berasarkan fluktuasi;
e. frekuensi listrik di titik interkoneksi.

Sebagai persyaratan interkoneksi perlu dilakukan studi kelistrikan wilayah. Proses interkoneksi dari pembangkit ke jaringan distribusi mengikuti Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke Sistem Distribusi.

7 Lokasi

7.1 Aksesibilitas

Lokasi pembangkit listrik harus dinyatakan dengan nama provinsi, kota / kabupaten, kecamatan, kelurahan, kampung, dan sungai. Untuk mempermudah penentuan posisi maka lokasi pembangkit harus disebutkan batas wilayah pada sisi utara, timur, selatan, dan sisi barat. Nama daerah aliran sungai harus disebutkan sehingga mudah dalam memverifikasi posisi dalam peta dan harus dilengkapi dengan koordinat GPS sehingga posisi yang dituju memiliki akurasi yang tinggi. Aksesibilitas menuju lokasi pembangkit harus disampaikan sebagai bahan pertimbangan pengangkutan material. Jarak ke jaringan distribusi listrik terdekat perlu menjadi perhatian untuk pembangunan jaringan sebagai rencana biaya investasi.

7.2 Studi geologi

Pada studi kelayakan PLTMH di bawah 1MW cukup dilakukan studi geologi permukaan. Tetapi apabila memungkinkan atau dirasa perlu oleh pengamat ahli (karena kondisi lingkungan yang kritis), maka studi geologi dapat saja dilaksanakan dan dijadikan pertimbangan dalam studi kelayakan.

7.3 Studi geoteknik

Studi geoteknik perlu dilakukan untuk pembangkit di atas 100 kW. Studi ini dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah terhadap bangungan sipil yang akan didirikan di atasnya dan mengetahui jenis pondasi yang sesuai. Metode yang digunakan adalah *Cone Penetration Test* (CPT) *Standar Penetration Test* (SPT).

7.4 Analisis debit banjir

Analisa ini digunakan untuk mengetahui debit terbesar yang melewati penampang sungai dalam jangka waktu dan probabilitas tertentu. Data yang diambil adalah data primer dengan pengukuran dan pengamatan langsung pada lokasi sungai seperti jenis tanah, tata guna lahan, profil penampang sungai, dan data kondisi daerah aliran sungai. Data sekunder berupa curah hujan, *catchment area*, dan karakteristik sungai diambil dari data meteorologi dan peta geospasial yang diterbitkan oleh lembaga/badan pemerintah.

Hasil analisa debit banjir dapat digunakan untuk menentukan desain bangunan sipil PLTMH terutama bendung, *intake*, *spillway*, *power house* dan *tailrace*, sehingga mampu menghadapi ancaman banjir besar yang mungkin terjadi.

7.5 Studi lingkungan

Studi lingkungan yang dilakukan untuk studi kelayakan pada skema PLTMH *isolated grid*, cukup berupa *quick assessment* saja yang kemudian apabila diperlukan dilanjutkan dengan pembuatan SPPL (Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup). Namun untuk PLTMH yang interkoneksi dengan jaringan distribusi perlu dilakukan studi UPL / UKL. AMDAL hanya dilakukan apabila PLTMH berada di kawasan hutan lindung atau ketentuan / peratuan perlindungan lingkungan lainnya yang berlaku.

Komponen lingkungan yang terkena dampak dari kegiatan pembangunan dan beroperasinya PLTMH diantaranya komponen air, aspek sosial, ekonomi, budaya, serta kesejahteraan masyarakat sekitar. Sedangkan limbah yang mungkin dihasilkan oleh kegiatan PLTMH diantaranya berupa limbah pelumas, polusi berupa kebisingan. Berdasarkan pertimbangan di atas, maka diperlukan adanya laporan UKL-UPL. Untuk PLTMH yang terkoneksi dengan jaringan distribusi. Untuk mempertahankan ekositem sungai di hilir bendung dan di hulu *tail race* perlu diperhatikan debit pemeliharaan sungai atau *eco flow*.

8 Aspek teknis

8.1 *Layout* instalasi PLTMH

Pada instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Air dibawah 1 MW terdapat beberapa komponen sebagaimana daftar berikut :

a. Sipil, terdiri dari bendung, *intake*, saluran pembawa, pintu air, bak pengendap, saluran pembilas, bak penenang, *spillway*, *trash rack*, pipa pesat, pondasi pipa pesat (*anchor block* dan *sadle support*), *expansion joint*, *surge tank,* rumah pembangkit, *tailrace*.

b. Mekanik, terdiri dari *main inlet valve*, *by pass valve*, turbin beserta lengkapannya, sistem pendingin, sistem pelumas, alat angkat.
c. Elektrical, terdiri dari generator, AVR beserta sistem eksitasi, sistem proteksi / relay, kontrol panel, listrik pemakaian sendiri baik AC maupun DC (*battery* beserta *charger*), panel *start up*, panel sinkron, trafo tenaga, trafo distribusi, relay dan kontrol untuk trafo dan penyulang, busbar, isolator, *outgoing*.
d. Sistem kontrol pembangkit baik berupa *load control* maupun *flow control.*
e. Peralatan pendukung, terdiri dari sistem penangkal petir, pembumian, peralatan kesehatan dan kesalamatan kerja. Sistem komunikasi diperlukan untuk pembangkit yang beroperasi secara *on grid* di atas 100 kW.

8.2 Komponen bangunan sipil

8.2.1 Bendung dan *intake*

Bendung harus mampu meninggikan level permukaan air pada sungai atau saluran buatan sehingga air dapat mengalir ke saluran *intake* yang memiliki elevasi lebih rendah. Elevasi lantai *intake* harus lebih tinggi dari dasar sungai untuk memastikan sedimen, pasir, dan kerikil tidak ikut terbawa ke saluran pembawa dan turbin namun tetap dapat menyadap air sungai dalam jumlah banyak sehingga biasanya dibuat melebar. Pada *intake* sebaiknya dilengkapi dengan *trash rack* untuk memastikan sampah dan batuan dari sungai tidak ikut masuk ke dalam saluran pembawa dan turbin.

Ketinggian bangunan bendung dan *intake* harus mempertimbangkan level air pada saat terjadi banjir periodik. Tingkat sedimentasi dan jenis sedimentasi yang dibawa pada aliran sungai perlu diperhatikan agar dapat ditentukan rencana bendung dan *intake* yang tepat.
Bangunan bendung dan *intake* harus mempertimbangkan jumlah debit air, tingkat sedimentasi, jumlah sampah, dimensi hidrolik air agar menghasilkan *headloss* rendah dan laminar.

Bukaan intake harus tenggelam dibawah permukaan air pada setiap kondisi aliran dan mampu berfungsi untuk mengosongkan bangunan saluran pembawa ketika perawatan dan perbaikan.

Intake harus dilengkapi *trash rack* dengan lebar celah paling tidak 5 cm namun mampu menahan tekanan air ketika terjadi penyumbatan. *Trash rack* harus mampu dilepas dengan mudah dari dudukannya dan terpasang pada kemiringan tertentu dengan lapisan anti korosi.

8.2.2 Saluran pembawa

Dalam pembuatan saluran pembawa dari *intake* menuju pipa pesat harus mempertimbangkan beberapa penyebab kegagalan, yaitu kebocoran saluran, rembesan air permukaan, erosi aliran permukaan yang deras. Saluran pembawa harus mampu menampung debit minimal sebesar 10% lebih tinggi dari debit rancangan. Saluran pembawa dapat berupa jembatan pipa/talang air, saluran tertutup, dan terowongan air tak bertekan. Penentuan jenis dan konstruksi saluran pembawa mempertimbangkan kontur muka tanah, kerawanan terhadap terhadap longsor, dan aliran silang permukaan.

8.2.3 *Spillway*

Spillway harus mampu melimpahkan air pada bendung atau *intake* secara efektif apabila air melebihi dari kapasitas yang tersedia sehingga bangunan disekitarnya tidak mengalami kerusakan. *Spillway* dirancang untuk dapat mengalirkan air secara cepat dengan kapasitas besar namun dengan struktur seminimal mungkin.

8.2.4 Bak pengendap

Bangunan ini harus memiliki dimensi yang memungkinkan air berjalan dengan tenang sehingga sedimen (pasir, tanah, batuan) dan kotoran yang dibawanya dapat mengendap ke bagian dasar bak. Panjang bak penenang harus memperhitungkan kecepatan dan ketenangan air sehingga aliran air tidak menimbulkan turbulensi dan material sedimen dapat dengan mudah diendapkan. Dasar bak harus lebih rendah dari saluran pambawa dan sanggup menampung sedimen dalam jumlah besar. Bentuk bak harus sedemikian rupa sehingga endapan terkumpul pada ujung bak dan mendekati pintu pembilas. Bangunan ini harus dilengkapi dengan pintu pembilas yang dipasang pada posisi tertentu sehingga ketika pintu dibuka maka sedimen yang mengendap dapat dengan mudah terbuang keluar. Kemiringan lantai bak pengendap harus memperhatikan jumlah dan jenis sedimen.

8.2.5 Bak penenang

Bak penenang berada diantara saluran pembawa dengan pipa pesat. Distribusi debit air harus mencukupi agar aliran air mengalir secara laminar, lembut dan tenang dari mulai *intake*, *trash rack*, hingga pipa pesat dan *spillway*. Bak ini harus mampu mentabilkan pengaturan debit air yang dibutuhkan pembangkit ketika terjadi perubahan beban. Bak penenang harus memiliki penyaring kotoran dan sampah agar tidak terbawa masuk ke dalam turbin. Desain dari struktur ini harus memiliki *spillway* untuk mengantisipasi mesin berhenti operasi seketika. Pipa pipa pesat harus terendam dalam kedalaman paling sedikit 2 (dua) kali diameter pipa pesat dengan jarak dari dasar *forebay* paling sedikit 30 (tiga puluh) cm sehingga endapan direncanakan sedemikian rupa agar tidak masuk ke pipa pesat. *Spillway* pada bak penenang harus mililiki kapasitas yang disesuaikan dengan debit rancangan. Bak penenang perlu dilengkapi dengan mekanisme pembilasan atau pengurasan. Sebelum memasuki pipa pesat air harus melewati *trash rack* dengan celah selebar maksimum ½ (setengah) dari jarak antar *blade* baik pada turbin *francis, propeller,* dan *crossflow* maupun pada diameter *nozzle* untuk turbin pelton.

8.2.6 Rumah pembangkit

Rumah pembangkit harus mampu melindungi peralatan elektrikal-mekanikal dan instrumentasi kontrol dari cuaca buruk serta akses orang yang tidak memiliki hak untuk masuk. Lokasi rumah pembangkit pada umumnya ditempatkan pada area datar yang stabil dekat dengan area aliran sungai. Elevasi lantai rumah pembangkit paling sedikit sebesar 1 meter di atas ketinggian desain level air banjir periodik. Pondasi rumah pembangkit sebaiknya dipisahkan dari pondasi turbin generator untuk menghindari masalah vibrasi, dan pondasi terbuat dari pasangan batu atau beton bertulang. Pondasi turbin terbuat dari beton bertulang. Rumah pembangkit harus dirancang sedemikian rupa sehingga memudahkan penempatan peralatan mesin pembangkit beserta pendukungnya dan ada, area untuk kegiatan perawatan mesin pembangkit. Ruang dalam rumah pembangkit harus memperhitungkan ruang untuk pemasangan dan pembongkaran peralatan pembangkit. Jalur *cable duct*, kelistrikan, dan drainase harus tertata terintegrasi dan terlindungi dengan baik pada lantai rumah pembangkit serta terhindar dari banjir akibat bocoran atau cuaca. Desain rumah pembangkit sebaiknya mempertimbangkan : beban peralatan dan mesin pembangkit. Pintu rumah pembangkit harus memiliki dimensi yang cukup besar untuk memasukan peralatan pembangkit. Jendela harus mampu memberikan cahaya alami dan ventiasi udara yang cukup ke dalam ruangan. Saluran drainase di sekitar rumah pembangkit harus diarahkan ke saluran air alami.

8.2.7 *Tailrace* dan *riprap*

Tailrace harus mampu menampung air yang dikeluarkan dari turbin secara efektif dan mengalirkannya kembali kepada aliran sungai. Elevasi lantai *tailrace* sebaiknya lebih tinggi dari elevasi permukaan air sungai. Namun perlu diperhatikan juga agar *tailrace* tidak dipenuhi sedimen atau mengalami kerusakan ketika terjadi banjir besar. Sudut masuk dan elevasi tailrace pada sungai perlu mendapat perhatian agar tidak menyebabkan erosi pada saluran alam yang ada. Untuk menurunkan kecepatan air dari *tailrace* ke badan sungai perlu dibuatkan *riprap* agar tidak terjadi kerusakan atau erosi pada badan sungai di ujung *tailrace*.

8.3 Konstruksi Pipa Pesat

8.3.1 Pipa pesat

Pipa pesat dapat menggunakan PVC, HDPE, GRP, baja atau terowongan yang dapat mengalirkan air bertekanan secara bebas. Jenis dari pipa pesat tergantung dari debit, *head*, dan topografi. Pemilihan pipa pesat juga mempertimbangkan aspek ekonomi Diameter pipa pesat dapat ditentukan dari *head* dan debit air yang akan digunakan sehingga didapat kecepatan air yang optimal namun profil aliran masih dalam bentuk laminar. Rugi-rugi harus diperhitungkan agar memiliki nilai *headloss* yang minimum namun tetap memiliki diameter pipa yang optimal sesuai dengan debit yang akan dialirkan. Penentuan ketebalan pipa pesat harus memiliki daya tahan dinding pipa pesat terhadap tekanan kejut yang diakibatkan oleh *water-hammer*. Permukaan bagian dalam pipa dibuat sehalus mungkin sehingga turbulensi dapat dihindari dan aliran yang terjadi memiliki profil aliran fluida laminar. Ukuran pipa pesat harus mempertimbangkan proses transportasi ke lapangan. Pipa pesat yang berbahan plastik (HDPE, PVC) harus ditanam di dalam tanah dan dilindungi dari sinar matahari langsung serta dibungkus dengan bahan yang tahan terhadap cuaca. *Missalignment* atau ketidaktepatan bibir antar sambungan pipa harus dihindari. Bagian dalam dan luar pipa pesat harus terlindung dari korosi dengan pengecatan yang tahan terhadap abrasi aliran air dan cuaca.

8.3.2 *Saddle support* dan *anchor block*

Air dalam pipa pesat mengalir dengan kecepatan yang tinggi sehingga harus didukung oleh penopang yang kokoh dan stabil dalam menanggung seluruh beban yang muncul namun tetap mempertimbangkan biaya konstruksi yang ekonomis. *Anchor block* wajib dibuat pada pangkal pipa pesat yang berbatasan dengan bak penenang dan pada ujung pipa pesat yang berbatasan dengan rumah pembangkit. Pondasi *anchor block* harus dipisahkan dari pondasi bak penenang dan pondasi rumah pembangkit. Selain itu *anchor block* wajib dibuat pada titik perubahan arah pipa pesat baik secara vertikal dan horizontal. *Saddle support* dipasang pada titik tertentu untuk menahan beban statis vertikal dari pipa pesat dan beban air di dalamnya. *Saddle support* dan *anchor block* harus dibangun sedemikian rupa sehingga pipa pesat tidak tergelincir dan *anchor block* mampu menyalurkan gaya lateral dan longitudinal ke tanah.

8.3.3 *Expansion joint*

Expansion joint harus mampu mengakomodir sedikit pergerakan lateral pipa pesat ketika terjadi pemuaian maupun ketika terjadi *water hammer*.

8.3.4 *Surge tank*

Surge tank harus mampu meredam tekanan *water hammer* atau gelombang kejut fluida yang berasal dari pipa pesat sebagai akibat dari perubahan kondisi hidrolika karena perubahan

beban atau *load rejection*. Bangunan ini juga harus mampu menstabilkan pasokan air pada saat peningkatan atau penurunan beban hingga kecepatan air dalam pipa pesat mencapai kepada kondisi *steady*. Penggunaan *surge tank* pada instalasi pembangkit mempertimbangkan jenis turbin, panjang pipa pesat, dan tekanan pada pipa pesat. Tidak semua instalasi pembangkit memerlukan *surge tank.*

8.3.5 *Draft tube*

Dimensi *draft tube* pada umumnya tergantung dari desain turbin agar cocok dengan kebutuhan operasi. *Draft tube* harus mempertimbangkan beban struktur, pondasi, kekuatan erosi dari aliran air dalam *draft tube*. Material *draft tube* sebaiknya menggunakan baja untuk menahan konsentrasi beban vertikal dan erosi air yang keluar dari turbin karena pada umumnya bersifat turbulent dengan kecepatan tinggi. Tidak semua instalasi pembangkit menggunakan *draft tube*. *Draft tube* hanya dipergunakan pada instalasi jenis turbin reaksi.

8.4 Turbin

Untuk tiap kondisi potensi, *head* dan debit tertentu, harus ditentukan jenis turbin yang cocok untuk lokasi tersebut. Pemilihan jenis turbin menurut beberapa pertimbangan teknis sebagai berikut.

a. menurut potensi tinggi *head.*
   Beberapa jenis turbin hanya cocok untuk *head* rendah (misalkan *propeller*) , sedangkan turbin jenis lainnya cocok untuk *head* menengah (misalkan *francis* dan *crossflow*) dan ada pula jenis turbin yang cocok untuk *head* tinggi (misalkan pelton).

b. menurut jenis turbin
   Pada dasarnya, terdapat dua jenis turbin air, yaitu:
   - Turbin aksi atau impuls (*Pelton, Turgo, Crossflow*)
     Turbin jenis ini memanfaatkan momentum dari energi kinetik air. Ciri-ciri turbin ini adalah hanya sebagian runner yang kontak dengan air pada suatu waktu.
   - Turbin reaksi (Francis, *Propeller*)
     Turbin jenis ini memanfaatkan beda tekanan di atas dan di bawah bilah *runner*. Ciri-ciri turbin ini adalah seluruh permukaan *runner* terendam atau kontak dengan air pada setiap saat.

c. menurut rumus kecepatan spesifik
   Salah satu parameter yang biasa dipakai untuk memilih jenis turbin dari sisi teoritis adalah dengan menghitung kecepatan spesifik atau *Specific speed*

d. menurut karakteristik turbin
   Secara umum, efisiensi turbin bisa dilihat dari karakteristik khas jenis turbin yang bersangkutan. Tergantung dari desain dan kualitas pembuatan masing-masing pabrikan, maka efisiensi turbin dapat berbeda pula. Selain efisiensi puncak, performa turbin pada berbagai kondisi debit dan beban juga harus menjadi pertimbangan dalam pemilihan jenis turbin yang tepat.

e. menurut aspek-aspek lain (teknis dan nonteknis)
   Ada kalanya lebih dari satu jenis turbin cocok untuk dipasang di suatu lokasi. Untuk itu dipakai pertimbangan lainnya, baik dalam segi teknis maupun nonteknis. Beberapa aspek yang menjadi pertimbangan diantaranya:
   - layanan purna jual (tergantung pada kebijakan pabrikan dan kontrak jual beli)
   - posisi rumah pembangkit terhadap muka air sungai
   - kemudahan perawatan dan perbaikan

- waktu pengiriman (termasuk didalamnya transportasi dan proses ekspor jika dipesan dari luar negeri)
- harga (harga selalu berbanding dengan kualitas)
- kapasitas sumber daya manusia untuk mengoperasikan, merawat, dan melakukan perbaikan terhadap peralatan

Dalam banyak kasus, hal yang menjadi pertimbangan utama biasanya faktor ekonomi, yaitu harga dan biaya-biaya yang mungkin terjadi dibandingkan dengan perkiraan pendapatan.

Laporan studi kelayakan harus sudah menentukan jenis turbin yang terpilih, dan dilengkapi dengan:

- alasan terpilihnya jenis turbin tersebut;
- perhitungan estimasi ukuran turbin beserta data-data teknis lainnya secara ringkas;
- gambar atau bentuk dan ukuran turbin, serta sketsa pemasangan turbin di dalam rumah pembangkit;
- kurva karakteristik turbin.

8.5 Transmisi mekanik

Dalam kondisi ideal, kecepatan putar *shaft* turbin diusahakan memiliki rasio 1:1 dengan kecepatan putar generator, sehingga *shaft* turbin dapat dihubungkan langsung dengan *shaft* generator dengan perantaraan kopling. Desain terkini turbin terpasang langsung pada poros generator. Dalam kondisi dimana kecepatan putar optimal *shaft* turbin tidak sama dengan kecepatan putar optimal generator, maka diperlukan adanya komponen penerus transmisi mekanik dengan rasio putaran yang disesuaikan dengan keperluan.

Transmisi mekanik dapat berupa *gearbox* atau transmisi dengan sistem *pulley and belt*. Sistem *pulley* and *belt* dapat dipilih berupa *V-belt* atau *flat belt* mengacu SNI 7932:2013.

Beberapa pertimbangan dalam pemasangan komponen transmisi mekanik adalah

- Efisiensi, tiap-tiap komponen mekanik tambahan akan memberikan kontribusi loses pada sistem. Jenis transmisi memiliki karakteristik efisiensi masing-masing
- Penambahan ruang, diperlukan adanya tambahan ruang untuk pemasangan komponen transmisi mekanik
- Perawatan, tiap penambahan komponen akan memerlukan perawatan, perbaikan, ataupun penggantian sesuai dengan umur pakainya.
- Polusi, transmisi mekanik biasanya menghasilkan polusi bunyi atau limbah pelumas
- Pengaman berupa sangkar yang melindungi benda berputar

8.6 Generator

Berbeda dengan turbin air yang secara spesifik didesain dan dibuat berdasarkan kondisi potensi lokasi, generator biasanya dipilih dari produk yang sudah distandarkan. Pemilihan generator menurut beberapa pertimbangan teknis.

a. Tipe generator
   Jenis generator yang biasa dipakai untuk pembangkitan listrik PLTMH adalah jenis asinkron, sinkron dengan sikat arang dan sinkron tanpa sikat arang
b. Kapasitas
   Kapasitas generator biasanya menyesuaikan dengan produk standar dari pabrikan dengan pertimbangan kapasitas daya terbangkit.
c. Jumlah fase
   Untuk pembangkit dibawah 5 kW bisa dipilih penggunaan generator keluaran 1 fase atau 3 fase, sedangkan untuk pembangkit diatas 5 kW dipergunakan generator keluaran 3 fase.

d. Putaran
   Frekuensi yang dihasilkan oleh generator harus sesuai dengan spesifikasi jaringan distribusi. Karena itu putaran generator harus dijaga supaya selalu konstan sesuai dengan putaran nominal generator. Putaran generator tergantung frekuensi dan jumlah kutub/*pole*. Baik untuk jaringan *on grid* maupun *off grid*, frekuensi yang ditetapkan adalah 50 Hz. Untuk pembangkit dibawah 100 kW direkomendasikan generator dengan putaran 1500 rpm.
e. Tegangan
   Rating tegangan generator pada tegangan keluaran direkomendasikan sebesar 230/400 Volt. Dapat juga dipilih *rating* tegangan generator sebesar 220/380 Volt atau 240/415 Volt. Pemilihan *rating* tegangan generator disesuaikan dengan standar pabrikan dan ketersediaan barang dipasaran.

8.7 Instrumen kontrol, monitor dan proteksi

Tergantung dari skema dan kapasitas pembangkit PLTMH serta jenis generator, maka dapat dipilih sistem kontrol yang sesuai. Kapasitas kontrol panel harus sama atau lebih besar dari kapasitas desain pembangkit.

Jenis kontrol diantaranya:
a. Manual atau tanpa menggunakan alat kontrol otomatis
b. Jenis Kontrol beban (*load control*) yaitu IGC untuk generator asinkron *atau ELC* untuk generator sinkron
c. Jenis kontrol aliran (*flow control)* untuk mengatur debit aliran yang masuk ke dalam turbin

Kontrol beban maupun krontrol aliran dapat dilengkapi dengan sistem *remote monitoring*. Untuk skema PLTMH interkoneksi dengan jaringan distribusi, maka diperlukan kontrol tambahan yaitu jenis *synchronizer*.

Semua peralatan yang terhubung dengan sistem distribusi harus memenuhi standar yang sudah diatur dalam SNI. Untuk standar peralatan yang belum diatur didalam SNI, dapat mengacu pada standar internasional antara lain ANSI, IEEE, NEC, NEMA, IEC atau mengacu pada standar yang ditetapkan oleh Pengelola Distribusi.

Setiap sambungan antara PLTMH dengan Jaringan Distribusi dikontrol oleh peralatan proteksi yang mampu memutus arus hubung singkat dan arus beban lebih pada titik sambung.

Proteksi pada instalasi PLTMH dan Konsumen yang tersambung ke sistem distribusi harus memenuhi syarat minimum standar waktu pembebasan gangguan. Setelan proteksi pada instalasi PLTMH dikoordinasikan dalam rangka mengurangi pengaruh gangguan pada sistem distribusi.

Sistem proteksi tergantung dari pola sistem yang diterapkan pada sistem distribusi. Terminal penghantar dengan pemutus tenaga harus dilengkapi relai proteksi setidak-tidaknya terhadap gangguan hubung singkat.

Semua jaringan tegangan rendah yang tersambung ke sistem distribusi harus dilengkapi dengan alat pembagi beban dan proteksi sesuai dengan SNI 0225:2011.

Proteksi dari PLTMH yang tersambung pada sistem distribusi harus dikoordinasikan dengan proteksi sistem distribusi sekurang-kurangnya dilengkapi dengan proteksi arus hubung singkat fase-fase dan fase-tanah, proteksi daya balik, proteksi tegangan dan frekuensi kurang atau lebih.

8.8 Distribusi listrik *off grid*

Pada jaringan terisolasi, pemilihan peralatan jaringan harus mempertimbangkan hal-hal seperti:
a. Jarak antara rumah pembangkit dengan konsumen (atau titik-titik berkumpulnya konsumen)
b. Rugi rugi tegangan dan daya yang mungkin terjadi sepanjang jaringan
c. Sistem proteksi untuk peralatan, perlindungan dari petir, longsor, atau faktor lainnya.
d. Sistem keamanan untuk manusia dan hewan
e. Struktur dan kondisi daerah yang dilewati jaringan (angin, petir, temperatur, kelembaban, dll)
f. Faktor ekonomis dalam pemilihan bahan dan ukuran kabel jaringan, tiang jaringan, serta aksesorisnya
g. Beban tiap fase harus didesain supaya seimbang

Perencanaan distribusi listrik mengikuti SNI 0225:2011 dan SNI 0225:2011/Amd 5:2016.

8.9 Interkoneksi dan sinkronisasi

Peralatan yang digunakan untuk distribusi listrik interkoneksi antara lain : *Switchgear*, kabel penyulang, tranformator, *synchronizer*, dan meter-meter. Interkoneksi PLTMH terhadap *grid* harus mengikuti persyaratan teknik sistem distribusi dan aturan Pengelola Distribusi.

Semua trafo yang tersambung pada sistem distribusi harus dilengkapi dengan peralatan proteksi petir dan peralatan proteksi terhadap beban lebih dan arus hubung singkat. Proteksi pada instalasi PLTMH yang terkoneksi ke sistem distribusi harus memenuhi syarat minimum waktu pembebasan gangguan. Setelan proteksi pada instalasi PLTMH dan sistem distribusi harus dikoordinasikan dalam rangka mengurangi pengaruh gangguan pada sistem distribusi.

Proteksi PLTMH yang interkoneksi pada sistem distribusi harus dikoordinasikan dengan proteksi sistem distribusi sekurang-kurangnya dilengkapi dengan proteksi arus hubung singkat fase-fase dan fase-tanah, proteksi daya balik, proteksi tegangan kurang/lebih dan proteksi frekuensi kurang/lebih.

Peralatan PLTMH harus dapat beroperasi sesuai dengan kapasitas yang tersedia. Semua peralatan yang terhubung dengan sistem distribusi harus memenuhi standar yang sudah diatur dalam SNI. Untuk standar peralatan yang belum diatur didalam SNI, dapat mengacu pada standar internasional antara lain ANSI, IEEE, NEC, NEMA, IEC atau mengacu pada standar yang ditetapkan oleh PD.

PLTMH berkewajiban menjamin keamanan, mutu, keandalan dan kuantitas pasokan tenaga listrik ke sistem distribusi. PLTMH bertanggung jawab untuk:
1. mengkoordinasikan rencana pemeliharaan, perbaikan dan pengembangan peralatan yang dapat berdampak kepada keamanan, mutu, keandalan dan kontinuitas pasokan tenaga listrik;
2. menginformasikan secepatnya kepada PD tentang kondisi operasional yang akan berdampak terhadap terganggunya mutu, keandalan dan kontinuitas pasokan tenaga listrik;
3. memberikan data untuk kepentingan perhitungan hubung singkat pada titik sambung untuk koordinasi proteksi, antara lain untuk menjamin keandalan sistem dan penyesuaian kapasitas peralatan distribusi.

8.10 Produksi listrik tahunan

Potensi daya ditentukan dari dari *head nett* dan debit desain, dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_d = \rho \times g \times H_{net} \times Q_a \times eff \times 10^{-3} \quad (4)$$

Keterangan:

P_d adalah daya desain (kW)
ρ (rho) adalah massa jenis air (kg / m^3)
g adalah konstanta gravitasi (m / det^2)
Hnet adalah *Head Netto* (m)
Q_a adalah debit andalan (m^3 / det)
eff adalah effisiensi sistem (%)

Efisiensi yang dimaksud adalah efisiensi sistem PLTMH (termasuk di dalamnya efisiensi turbin, transmisi mekanik dan generator,) pada kondisi efisiensi maksimum.

Nilai – nilai efisiensi masing-masing komponen dapat diminta dari pabrikan atau pemasok komponen yang bersangkutan dan harus dibuktikan oleh pemasok pada saat komisioning (dengan pengukuran daya keluaran).

Produksi listrik tahunan ditentukan dari daya desain, *capacity factor*, dan jumlah jam operasi mesin pembangkit dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_{net} = P_d \times t \times CF \times 10^{-3} \quad (5)$$

Keterangan:

E_{net} adalah Produksi Energi Listrik Tahunan (MWh)
P_d adalah daya desain (kW)
t adalah jumlah jam operasi dalam satu tahun (h)
CF adalah *capacity factor*

Untuk PLTMH yang terkoneksi dengan jaringan distribusi, produksi energi tahunan harus diperhitungkan dalam sebuah studi kelayakan.

Apabila *flow duration curve* diketahui, maka potensi produksi tahunan dihitung dengan mempertimbangkan kurva tersebut, hal ini disebabkan karena produksi daya maksimum tidak terjadi sepanjang tahun (dikarenakan debit air yang tidak selalu sama).

Variabel yang harus dimasukkan dalam perhitungan produksi tahunan adalah

a. *Flow duration curve*, yaitu ketersediaan air sepanjang tahun
b. *Capacity factor*, kesiapan PLTMH dalam menghasilkan energi listrik diluar waktu perawatan, perbaikan, dan gangguan lainnya.
c. Faktor kesiapan jaringan distribusi dalam menyerap energi yang dihasilkan oleh PLTMH
d. Faktor pemeliharan (*down time operation*)

9 Keandalan

Untuk menjamin keandalan PLTMH baik itu *off grid* maupun *on grid*, maka perencanaan dan perancangan PLTMH harus memperhatikan hal hal sebagai berikut :

a. Perhitungan kekuatan struktur bangunan sipil
b. Pemilihan material bahan bangunan
c. Pemilihan komponen mekanikal dan elektrikal

d. Kompetensi tenaga teknik yang akan menangani pengoperasian dan pemeliharaan sistem pembangkit

10 Ketergantungan teknologi

Untuk PLTMH di bawah 1 MW, beberapa jenis turbin sudah dapat diproduksi secara lokal dengan tingkat TKDN di atas 50%. Besaran nilai TKDN untuk PLTMH di bawah 1 MW baik itu TKDN perlengkapan utama (turbin, generator, bangunan sipil), TKDN jasa (konsultan perencana, kontraktor) , dan TKDN gabungan mengikuti aturan perundang-undangan yang berlaku.

11 Rencana pengoperasian dan pemeliharaan pembangkit

Manajemen pengelolaan pembangkit merujuk kepada pedoman atau manual yang sudah ada. Untuk mengelola pembangkit diharuskan tersusun sebuah lembaga yang mampu secara teknis dan administrastif dan mempunyai tanggung jawab terhadap operasional dan pemeliharaan pembangkit sehingga mampu memberikan pelayanan optimal kepada pelanggan. Pengelola pembangkit harus terdiri dari organisasi, sistem pengelolaan, administrasi dan keuangan, serta tata tertib dan peraturan. Pengelolaan pembangkit harus dilaporkan secara berkala dan dapat dipertanggungjawabkan.

Pada saat studi kelayakan, perlu dilakukan inventarisir / *assessement* kemampuan sumber daya manusia setempat untuk menangani pengoperasian dan pemeliharaan pembangkit. Dokumen yang harus dipersiapkan sebelum PLTM beroperasi, antara lain:

a. pedoman operasional;
b. pedoman pemeliharaan pembangkit;
c. daftar nama bagian dan komponen sistem pembangkit;
d. log book / log sheet.

Operasional dan pemeliharaan pembangkit harus mengacu kepada buku manual operasi dan pemeliharaan yang dikeluarkan oleh pabrikan peralatan PLTMH.

Operasional pembangkit harus mampu menghasilkan listrik dan mengatur produksi tenaga menyesuaikan dengan kebutuhan beban dalam sistem sehingga kualitas pasokan listrik kepada konsumen dapat dijaga secara stabil dan pembangkit dapat terpelihara dalam kondisi yang baik.

Untuk menjaga semua peralatan / komponen mesin, elektrikal, dan sipil pembangkit agar selalu berada dalam kondisi prima dalam jangka waktu lama, maka diperlukan pemeliharaan secara terencana. Terdapat beberapa metode pemeliharaan yang harus dilakukan, diantaranya adalah

a. Inspeksi harian, memastikan tidak ada keganjilan operasi pada fasilitas dan mesin pembangkit,
b. Inspeksi berkala, memastikan tidak ada gangguan pada fasilitas dan mesin pembangkit,
c. Inspeksi khusus, bila terjadi gangguan alam atau kecelakaan,
d. Pencatatan pemeliharaan.

12 Keselamatan

12.1 Keselamatan umum

Setiap organisasi yang terlibat baik dalam pembangunan maupun pengoperasian dan pemeliharaan pembangkit harus menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Pelaksanaan program keselamatan dan kesehatan kerja memiliki tujuan untuk:

a) Melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja dan orang lain yang berada di dalam lingkungan tempat kerja dari potensi bahaya listrik
b) Menciptakan instalasi listrik yang aman, andal, dan memberikan keselamatan bangunan beserta isinya
c) Menciptakan tempat kerja yang selamat dan sehat untuk mendorong produktivitas.

Implementasi program keselamatan dan kesehatan kerja lstrik harus dimulai dari perencanaan, pemasangan, penggunaan, perubahan, pemeliharaan, pemeriksaan, hingga pengujian. Seluruh aktivitas tersebut harus dilaksanakan sesuai dengan standar bidang kelistrikan yang berlaku meliputi Standar Nasional Indonesia, Peraturan Pemerintah, Standar Internasional, dan atau Standar Nasional Negara lain.

Perusahaan yang menggunakan perlengkapan dan peralatan listrik wajib menggunakan perlengkapan dan peralatan listrik yang telah mempunyai sertifikat yang diterbitkan oleh lembaga atau instansi yang berwenang.

12.2 Keselamatan instalasi

Dalam tahapan studi kelayakan perlu diperhatikan faktor-faktor lingkungan setempat yang berpotensi mengganggu keselamatan instalasi, diantaranya adalah kualitas air, kontur topografi, kecenderungan pergerakan tanah, dan daya dukung tanah, ekosistem, klimatologi.

13 Aspek Ekonomi

13.1 Biaya investasi (RAB)

Sebuah laporan studi kelayakan untuk PLTMH yang terinterkoneksi dengan jaringan distribusi harus memperhitungkan analisa ekonomi dan finansial. Dimulai dengan memperhitungkan nilai biaya investasi (biaya pembangunan), biaya operasional dan perawatan, dan juga memperhitungkan besarnya penerimaan pemasukan dan berbagai perhitungan ekonomis lainnya.

Tingkat akurasi dalam perhitungan biaya investasi dalam sebuah laporan studi kelayakan berkisar antara 5% hingga 10%. Yang termasuk dalam perhitungan investasi atau biaya pembangunan adalah:

- Biaya perencanaan dan perancangan lebih lanjut.
- Biaya pengurusan izin-izin apabila ada.
- Biaya akusisi lahan apabila diperlukan.
- Biaya pembangunan struktur sipil.
- Biaya pengadaan dan pemasangan peralatan elektro-mekanikal.
- Biaya pengadaan dan instalasi jaringan, sambungan rumah, dan instalasi rumah.
- Biaya pembangunan infrastruktur akses jalan apabila diperlukan.
- Biaya komisioning, sertifikasi laik operasi.
- Pajak.

13.2 Pendapatan tahunan

Pendapatan Listrik Tahunan ditentukan dari Produksi listrik tahunan dan tarif listrik yang berlaku sesuai dengan persamaan berikut.

$$\boldsymbol{R} = (\boldsymbol{E_{net}} - \boldsymbol{E_{ps}}) \times \boldsymbol{T} \times \mathbf{10^3} \qquad (6)$$

Keterangan:

R adalah Pendapatan Tahunan dari energi listrik (Rp)
E_{net} adalah Produksi Energi Listrik Tahunan (MWh)
E_{ps} adalah energi listrik pemakaian sendiri (MWh)
T adalah tarif listrik (Rp / kWh)

13.3 *Cash flow* dan laba rugi

Pendapatan sebuah PLTMH bisa didapat dari hasil penjualan listrik kepada jaringan distribusi, atau dari iuran masyarakat dan pemanfaat listrik (bila jaringan terisolasi untuk listrik pedesaan).

Untuk skema tertentu, tarif penjualan listrik ke jaringan distribusi ditetapkan oleh pemerintah. Tarif penjualan listrik kepada masyarakat (skema terisolasi) harus memperhitungkan besarnya nilai investasi, perkiraan pengeluaran rutin untuk gaji pengurus dan perawatan, tabungan untuk persiapan penggantian komponen jika terjadi kerusakan, serta kemampuan ekonomi masyarakat.

Untuk pengeluaran yang bersifat rutin antara lain:
- Biaya perawatan rutin
- Biaya gaji pegawai atau pengelola
- Retribusi yang berhubungan dengan pemanfaatan air, pajak , dll.

Sedangkan untuk pengeluaran tidak rutin misalnya biaya *overhaul* atau perbaikan besar.

13.4 Analisa finansial (NPV, IRR, *payback period, cost benefit ratio*)

Perhitungan analisa ekonomi yang harus tercantum dalam sebuah studi kelayakan yaitu:

a. *Net present value*
   Merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai faktor diskon, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskonkan pada saat ini. Untuk menghitung NPV diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/benefit dari proyek yang direncanakan.NPV adalah nilai *cash flow* operasional PLTMH terhadap total investasi dan akan bernilai nol saat mencapai pay back period lalu akan bernilai positif setelah melewati masa *payback periode.*

b. *Internal rate of return*
   Merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilanjutkan apabila laju pengembaliannya (rate of return) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana dan lain-lain). IRR merupakan persentasi keuntungan dari proyek selama periode berjalan, nilai IRR harus lebih besar dari risiko usaha yang disebut discount rate atau WACC (*Weight Average Cost of Capital*).

c. *Payback periode*
Metoda yang mencoba mengukur seberapa cepat suatu investasi dapat kembali dari hasil pendapatan bersih atau aliran kas netto (*net cash flow*). Metode ini memperhitungkan jangka waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi dimana jumlah keuntungan yang didapat dari sutu proyek sama dengan investasi total yang ditanamkan setelah koreksi oleh nilai uang. Investasi memiliki prestasi baik bila periode pengembaliannya relatif pendek.

d. Metode lain
Selain analisa tersebut di atas, beberapa analisa yang juga boleh dicantumkan namun tidak wajib adalah analisa:
- *Cost / benefit ratio*, merupakan perbandingan dari perkiraan benefit (bisa berupa keuntungan financial ataupun keuntungan non-finansial) dibandingkan dengan biaya-biaya yang harus dikeluarkan
- *Sensitifity analysis*, merupakan analisa sensitifitas, misalkan apabila perkiraan biaya pembangunan yang dipakai untuk perhitungan analisa ekonomi tidak sesuai,maka bagiamana perbedaan nilai biaya pembangunan tersebut mempengaruhi nilai-nilai NPV, IRR, atau *Payback Periode*

13.5 Alternatif pembiayaan

Perhitungan analisa ekonomi dapat dilakukan dengan analisa perbandingan biaya konsumsi bahan bakar yang diperlukan pembangkit listrik tenaga fosil dalam menghasilkan listrik. Terdapat beberapa sumber pendanaan, diantaranya adalah hibah, pinjaman, dan investasi. Sumber pendanaan berbentuk Investasi dalam hal ini memiliki pengertian pemberian dana dengan suatu harapan mendapatkan keuntungan dalam jangka waktu tertentu dan keuntungan tersebut tidak hanya dalam bentuk finansial, namun bisa juga dalam bentuk non finansial dalam rangka pengembangan kualitas hidup masyarakat daerah tertentu. Bentuk pembiayaan ini diberikan pada umumnya oleh pemerintah, lembaga donor, dan organisasi nirlaba non pemerintah. Sumber dana dapat juga bersumber dari swadaya masyarakat, dana filantropi, atau program CSR dari perusahaan.

13.6 Penghematan bahan bakar minyak

PLTMH tidak membutuhkan bahan bakar fosil dalam operasionalnya sehingga biaya yang dihitung untuk menjalankan pembangkit hanya biaya untuk operasional dan pemeliharaan. Perlu dilakukan analisa pengaruh operasional PLTMH terhadap pengurangan penggunaan bahan bakar minyak apabila diasumsikan listrik yang dibangkitkan bersumber dari PLTD. subsidi penyediaan listrik yang diserap oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

14 Aspek Legal

Untuk menjamin legalitas operasional pembangkit listrik maka pihak perencana harus menyiapkan informasi dan data-data agar pada tahap pembangunan, pemilik proyek atau pelaksana pembangunan PLTMH *off grid* untuk pelistrikan desa, secara administratif dapat melengkapi perizinan sebagai berikut:

a. Izin penggunaan lahan dari mulai bendung sampai *tailrace*. Izin dapat berbentuk surat atau pernyataan dari Kepala Daerah, Aparat Desa, atau masyarakat desa, tergantung dari status kepemilikan lahan yang digunakan
b. Izin pemanfaatan air, dapat dari petani penggarap sawah/kebun, masyarakat pengguna air, pengelola irigasi, dinas pengelolaan sumber daya air, atau balai / balai besar wilayah sungai, tergantung jenis sungai / saluran irigasi yang dipergunakan. Izin dapat berbentuk surat dari pihak tersebut
c. Izin mendirikan bangunan dari Pemerintah daerah

d. Izin galian C apabila menggunakan bahan bangunan seperti pasir atau batu kali yang diambil dari sempadan sungai.
e. Izin pemanfaatan lahan sempadan sungai apabila ada bangunan sipil PLTMH yang didrikan pada areal 50 m dari bibir sungai
f. Izin pemanfaatan lahan yang bersinggunan dengan kawasan budidaya kehutanan, kawasan konservasi, cagar alam / cagar budaya, dan taman nasional.
g. Sertifikasi laik operasi (SLO), dari lembaga/perusahaan yang diakreditasi oleh pemerintah. SLO dilakukan setelah PLTMH dibangun dan komisioning sudah dilaksanakan
h. Izin operasi dari Pemerintah

Untuk pembangkit yang interkoneksi dengan jaringan PLN / *on grid* maka perizinan di atas harus dilengkapi dengan,

a. Persyaratan Kelengkapan Administratif Perusahaan (Identitas, pengesahan badan usaha/hukum, profil, NPWP, SIUP, SITU, TDP);
b. Persyaratan Lingkungan sesuai dengan ketentuan mengacu pada peraturan perundang-undangan yang berlaku, dapat berupa izin atau rekomendasi Lingkungan / UPL –UKL dari Pemerintah Daerah atau izin AMDAL;
c. Surat izin Pengambilan dan Pemanfaatan air Permukaan dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Daerah atau dari Balai Wilayah Sungai / Balai Besar Wilayah Sungai Kementerian Pekerjaan Umum, tergantung jenis dan lokasi sungai;
d. Izin Prinsip dari Kepala Daerah;
e. Izin Lokasi dari Kepala Daerah;
f. Izin Peruntukan dan Penggunaan Tanah dari Kepala Daerah;
g. Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik dari Kementerian ESDM;
h. Izin Investasi dari BKPM;
i. Penetapan badan usaha sebagai pengelola tenaga air untuk pembangkit listrik dari Kementerian ESDM;
j. Perjanjian Jual Beli Listrik dengan PLN.

Perizinan tersebut diatas, dipersiapkan oleh pemilik atau pelaksana pembangunan setelah lokasi tersebut dinyatakan layak. Baik untuk Pembangkit yang *off grid* maupun *on grid* harus dilengkapi dengan laporan studi kelayakan yang dilengkapi dengan gambar-gambar teknik serta Rencana Anggaran Biaya.

Untuk Pembangkit *on grid* harus dilengkai dengan analisis keekonomian dan harus dilakukan verifikasi lokasi oleh PLN yang dilanjutkan dengan Kajian Kelaikan. Selain itu juga untuk pembangkit yang *on grid* harus disertai dengan studi kelistrikan dan penyambungan.

15 Aspek sosial

15.1 Demografi

Aspek yang dilihat pada demografi berupa kondisi penduduk setempat yang akan merasakan langsung dampak adanya PLTMH. Data demografi tersebut antara lain:

a. Jumlah dan komposisi penduduk di sekitar lokasi
b. Mata pencaharian dan penghasilan penduduk
c. Tingkat pendidikan, secara khusus diidentifikasi yang memiliki pendidikan teknis / kejuruan terkait PLTMH
d. Kajian terhadap perilaku, kebiasaan, dan budaya daerah
e. Kajian terhadap struktur / tatanan kelembagaan dalam masyarakat
f. Kajian terhadap kualitas hidup dan kebutuhan masyarakat
g. Kajian terhadap tingkat kesejahteraan masyarakat
h. Kajian terhadap aksesibiltas lokasi terhadap pusat pemerintahan

i. Kajian terhadap ketersediaan sumber energi dan pola pemanfaatannya
j. Kajian terhadap ketersediaan material lokal
k. Kajian terhadap profil usaha produktif dan sumber daya ekonomi lokal
l. Kajian terhadap respon dan dukungan pemerintah daerah setempat terhadap rencana pembangunan PLTMH

15.2 Partisipasi lokal

Partisipasi masyarakat dalam perencanaan, pembangunan, operasional, dan pemeliharaan Pembangkit harus didorong dan dikembangkan secara bertahap serta berkelanjutan. Pemberian pemahaman dan keterampilan dalam pengelolan Pembangkit akan meningkatkan partisipasi masyarakat. Keberadaan Pembangkit diharapkan dapat menghidupkan kehidupan ekonomi masyarakat sekitar sehingga terjadi peningkatan jumlah pendapatan dan jumlah lapangan pekerjaan serta mengembangkan sektor potensial lainnya pada daerah tersebut. Melalui pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan, keberadaan pembangkit harus dapat meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat setempat.

15.3 Pengembangan fasilitas pendidikan dan umum

Keberadaan pembangkit di suatu daerah berdampak secara langsung pada kemanfaatan ekonomi dan berdampak secara tidak langsung kepada kesejahteraan ekonomi. Dalam Studi kelayakan perlu dikaji kemungkinan pemanfaatan PLTMH terkait dengan pengembangan fasilitas pendidikan dan pelayanan publik. Tuntutan kesejahteraan akan menciptakan kebutuhan fasilitas pendidikan dan fasilitas umum yang lebih tinggi.

15.4 Survei keberterimaan masyarakat setempat

Untuk mengkaji kesiapan sosial masyarakat dalam menerima dampak sosial terhadap program pengembangan PLTMH diperlukan sebuah kajian dari hasil survei keberterimaan masyarakat setempat sehingga mampu mencegah terjadinya konflik sosial. Beberapa metode pengumpulan data yang dapat dipergunakan antara lain:
a. Pengumpulan dara sekunder dari hasil penelitian dan referensi berbagai instansi
b. Pengamatan lapangan / observasi
c. Wawancara dan kuesioner
d. Wawancara mendalam dengan tokoh masyarakat
e. Focus group discussion

Survei keberterimaan masyarakat dilakukan uintuk memastikan beberapa hal berikut ini:
a. Tidak ada keberatan dari masyarakat
b. Terdapat kelembagaan / tatanan sosial yang mampu menyelesaikan konflik
c. Terdapat lembaga lokal yang menjamin keberlanjutan pengelolaan pembangkit
d. Terdapat kemampuan masyarakat dalam kontribusi pembangunan, operasi dan pemeliharaan
e. Terdapat otoritas lokal yang bisa diajak kerjasama untuk meningkatkan partisipasi masyarakat

16 Risiko

Risiko yang mungkin terjadi harus dipaparkan dengan jelas dan rinci. Untuk memperjelas pemaparan dapat dibuatkan tabel mitigasi risiko yang mungkin terjadi. Risiko dapat berupa terjadinya kekeringan atau berkurangnya sumber daya air, kapasitas pembangkit tidak tercapai,atau produksi energitidak sesuai yang dharapkan. Mungkin juga terjadi risiko bencana alam berupa gempa bumi, longsor, atau banjir misalnya. Selain itu juga ada risiko gagal bangunan yakni pekerjaan sipil tidak berfungsi denganbaik atau gagal bangunan yaitu

bangunan sipil mengalami kerusakan sebelum atau saat pembangkit dioperasikan. Risiko lain dapat berupa klaim warga atas lahan yang dipergunakan, izin yang terlambat atau tidak dapat dipenuhi. Secara sistematis risiko risiko tersebut dijelaskan dalam studi kelayakan termasuk risiko finansial dan risiko pengelolaan yang mungkin terjadi. Walaupun PLTMH ramah lingkungan, namun apabila berpotensi timbul permasalahan maka risiko lingkungan dan sosial pun perlu dikaji kemungkinannya. Secara umum risiko-risiko tersebut dapat terjadi pada saat perencanaan, pembangunan, atau pengoperasian PLTMH. Dijelaskan juga dampak yang mungkin muncul apabila risiko – risiko tersebut terjadi dan siapa pihak yang terkena dampak tersebut.

17 Rekomendasi kelayakan

Laporan studi kelayakan harus menyajikan rangkuman analisis semua aspek yang mendasari rekomendasi kelayakan pembangunan PLTMH yang tidak hanya berorientasi teknis dan finansial namun juga harus memperhatikan faktor sosial, keberlanjutan, keselamatan dan lingkungan.

Lampiran
(informatif)
Contoh sistematika laporan studi kelayakan

Laporan studi kelayakan

Dalam laporan sebuah studi kelayakan PLTMH, diupayakan meliputi hal-hal berikut, namun tidak terbatas pada:

1. Pendahuluan (Penjelasan tahap pengembangan, energi untuk kesejahteraan)
   - 1.1 Gambaran umum desa
   - 1.2 Demografi
   - 1.3 Aksesibilitas
   - 1.4 Kultur dan kearifan lokal
   - 1.5 Aspek keamanan
   - 1.6 Mata pencaharian dan penghasilan masyarakat
   - 1.7 Aspek partisipasi dan swadaya masyarakat

2. Potensi Pembangkitan
   - 2.1 Titik koordinat bendung/*intake*, bak penenang dan rumah pembangkit
   - 2.2 Metoda dan hasil pengukuran *head*
   - 2.3 Metoda dan hasil pengukuran debit
   - 2.4 Hasil studi Hidrologi dan Analisis Hidrologi
   - 2.5 Hasil Studi Geoteknik dan Analisis Geoteknik
   - 2.6 Hasil Studi Topografi dan Analisis Topografi
   - 2.7 *Flow duration curve* dan metoda yang dipakai
   - 2.8 Debit Banjir
   - 2.9 *Layout* / tata letak sistem pembangkit
   - 2.10 Perhitungan kapasitas pembangkit, faktor pembangkitan, faktor beban, dan produksi energi tahunan

3. Aspek teknis
   - 3.1 Gambar *layout* sistem PLTMH dari bendung hingga rumah pembangkit
   - 3.2 Jalur lintasan distribusi listrik
   - 3.3 Kondisi geoteknik, daya dukung tanah, jenis tanah dan batuan
   - 3.4 bangunan sipil
     - a. bendung dan *intake*
       - jenis bendung
       - tinggi mercu bendung
       - tinggi dan panjang sayap bendung
       - lebar bentang bendung
       - pintu penguras
       - pintu *intake*
       - *spillway*
     - b. saluran pembawa
       - panjang saluran
       - penampang melintang saluran
       - *spillway* dan *riprap* apabila diperlukan
       - jembatan atau talang air
     - c. bak pengendap dan penenang
       - dimensi bak
       - volume bak
       - volume kantong lumpur
       - trash rack
     - d. pipa pesat/*draft tube*

e. rumah pembangkit
f. metode pembangunan, jalur dan akses jalan pengangkutan bahan bangunan dan komponen PLTMH

3.5 mekanikal elektrikal
   a. jenis turbin
      - jenis turbin (*crossflow, propeller, kaplan, pelton, francis*, dll)
      - data teknis umum turbin (diameter, Bo, daya poros, jumlah nozzle, efisiensi turbin, dll), lihat SNI 7932:2013
   b. jenis generator
      - tipe generator yang dipakai (asynchronous, synchronous)
      - data teknis umum generator (kapasitas, kecepatan, fase, tegangan)
   c. jenis transmisi mekanik (jika diperlukan)
      - jenis transmisi maknik (V-*belt, Flat belt, gearbox*)
      - data teknis umum transmisi (kapasitas, ratio, diameter, jumlah belt, ukuran belt)
   d. jenis kontrol dan ballast load
      - Jenis kontrol yang dipakai (ELC, Flow control, jenis ballast)
      - Data teknis (kapasitas, fase, tegangan, arus)
   e. distribusi listrik
      - jenis, tinggi dan skun tiang
      - jenis kabel (diameter, fase)
      - jumlah sambungan rumah
      - jumlah instalasi rumah
      - gardu portal (trafo, meter-meter)
      - fasilitas sosial (rmah ibadah, jalan, rumah jompo, puskesmas, sekolah, kantor desa, dll)

4. Analisis beban dan kajian kelistrikan wilayah
   4.1 terisolasi (tidak terhubung dengan jaringan distribusi)
      a. Jumlah dan sebaran konsumen
      b. Single line diagram
      c. Proyeksi kurva beban
      d. Konsumen non rumah tangga / Fasilitas umum
      e. Neraca beban

   4.2 Interkoneksi dengan jaringan distribusi
      a. Data atau kurva beban eksisting
      b. *Single line diagram* eksisting
      c. Tegangan, frekuensi dan arus
      d. Jarak ke grid

5. Aspek lingkungan (UPL-UKL , non-AMDAL, mitigasi bencana)
   5.1 Status lahan, lahan konservasi (hutan lindung, zona inti, cagar budaya, situs arkeologi, area keramat)
   5.2 Aspek konservasi perairan
      a. minimal debit pada saluran asli
      b. konservasi biota sungai (*fish ladder*)
      c. sedimentasi
      d. kualitas air
   5.3 izin lingkungan (dokumen UKL-UPL)
   5.4 Status dan penggunaan lahan
   5.5 Pemanfaatan air untuk keperluan domestik dan pertanian

6. Aspek legal (rekomendasi perizinan)
   6.1 Penggunaan lahan, peta kepemilikan lahan
   6.2 Kehutanan, lahan konservasi
   6.3 Rencana penggunaan air (Dinas PSDA, BWS, Jasa Tirta, Kelompok Mitra Air)
   6.4 Badan hukum organisasi pengelola (koperasi, perusda, SK Bupati)
   6.5 AD/ART organisasi pengelola (kesepakatan iuran wajib, aturan, penunjukkan operator, bendahara)
   6.6 Kelaikan operasi, sertifikat laik operasi
   6.7 Izin lokasi, izin prinsip, izin pemanfaatan air, penetapan pengembang, IUKU, PPA

7. Penyusunan RAB
   7.1 Biaya akuisisi lahan
   7.2 Biaya bangunan sipil
   7.3 Biaya mekanikal elektrikal
   7.4 Biaya distribusi listrik
   7.5 Biaya pengangkutan
   7.6 Data harga bahan bangunan dan komponen PLTMH
   7.7 Volume pekerjaan
   7.8 Analisis harga satuan
   7.9 Biaya biaya pajak
   7.10 Biaya pengawasan dan sertifikasi
   7.11 Biaya pelatihan operasional, pemeliharaan dan pemanfaatan
   7.12 Biaya pelatihan pengorganisasian konsumen, manajemen dan administrasi lembaga pengelola
   7.13 Total Biaya pembanguan, ikhtisar biaya pembangunan

8. Analisis manfaat ekonomi, SDM dan lingkungan
   8.1 Penghematan bahan bakar fosil
   8.2 Peningkatan nilai tambah komoditi lokal dengan industrialisasi
   8.3 Fasilitas pendidikan dan kesehatan menjadi lebih baik
   8.4 Peningkatan standar kualitas hidup
   8.5 Meningkatkan kepedulian penduduk terhadap konservasi lingkungan di hulu sungai

9. Produksi Energi
   9.1 *Flow Duration Curve*, Debit Jagaan sungai
   9.2 Efesiensi Turbin dan Generator pada berbagai variasi debit
   9.3 Jam operasional
   9.4 *Avaibility factor* /faktor keandalan jaringan
   9.5 *Down time*
   9.6 Produksi Energi tahunan
   9.7 Pemakaian listrik untuk kepentingan sendiri

10. Analisis Keuangan
   10.1 Sumber pembiayaan
   10.2 Analis *Cash Flow*
   10.3 Analisa Laba Rugi
   10.4 IRR, NPV, *Cost* / *Benefit Ratio*
   10.5 Analisis Sensitivitas

11. Risiko
    - 11.1 Risiko Finansial
    - 11.2 Risiko Teknik
    - 11.3 Risiko Legal
    - 11.4 Risiko Bencana Alam
    - 11.5 Risiko Sosial

12. Rekomendasi Kelayakan
    - 12.1 Proses dan tahapan pengembahangan
    - 12.2 Perizinan yang diperlukan
    - 12.3 Jadwal Pelaksanaan Pekerjaan
    - 12.4 Kesimpulan
    - 12.5 Saran

Informasi pendukung terkait perumus standar

1. **Komtek perumus SNI**
   Komite Teknis 27-03, Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan

2. **Susunan keanggotaan Komite Teknis perumus SNI**

Ketua	: Ahmad Indra Siswantara
Wakil ketua	: Mochamad Sjachdirin
Sekretaris	: Faisal Rahadian
Anggota	: Adjat Sudrajat
	Soeripno Martosaputro
	Nanda Avianto Wicaksono
	Pahlawan Sagala
	Sentanu Hindrakusuma
	Harry Indrawan
	Carolus Boromeus Rudationo
	Eddy Permadi
	Ika Hartika Ismet
	Oo Abdul Rosyid
	Sahat Pakpahan
	Asep Sopandi
	Tony Susandy
	Yudistira Christika Elia
	Indra Djodikusumo
	Ezrom M.D. Tapparan

3. **Konseptor rancangan SNI**
   Ir. Faisal Rahadian

4. **Sekretariat pengelola Komite Teknis perumus SNI**
   Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan
   Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi
   Kementerian ESDM